

DÓRIO ANDERSON VICENTE DA SILVA

**REDUÇÃO EM CAMPO DA SUJIDADE EM TORAS DE MADEIRA DE
EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de Magister Scientiae

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586r
2014
Silva, Dório Anderson Vicente da, 1977-
Redução em campo da sujidade em toras de madeira de
eucalipto para produção de celulose / Dório Anderson Vicente da
Silva. – Viçosa, MG, 2014.
ix, 40f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.33-40.

1. Eucalipto - Cultivo. 2. Celulose. 3. Papel - Indústria.
4. Harvester. 5. Colheitadeira - Produção. 6. Transporte.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-graduação em Tecnologia de
Celulose e Papel. II. Título.

CDD 22. ed. 634.983

DÓRIO ANDERSON VICENTE DA SILVA

**REDUÇÃO EM CAMPO DA SUJIDADE EM TORAS DE MADEIRA DE
EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 31 de julho de 2014

Carolina Marangon Jardim

Hélio Garcia Leite

Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho
(Orientadora)

A DEUS toda honra e toda glória.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas bênçãos e graças concedidas e por colocar pessoas maravilhosas na minha vida.

À minha querida esposa Flávia e minha filha Ana Luiza que me apoiaram e tiveram paciência nas horas que estive ausente.

Aos meus pais, Dório (Toti) e Lourdes pelo exemplo de doação de vida e amor.

À Universidade Federal de Viçosa, por tornar possível a realização do curso de Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel na cidade de Vitória – ES. E aos professores pelo vasto conhecimento passado durante o curso, em especial à professora Ana Marcia, pelos conhecimentos e paciência.

À Fibria Celulose S.A., nas pessoas de Carlos Alberto Nassur, Jairo Dal'Col e Rodrigo Zagonel, por viabilizar e disponibilizar recursos para a realização deste trabalho.

Aos colegas de campo e do Desenvolvimento Operacional da Fibria que operacionalizaram o trabalho.

Ao Engenheiro Florestal Silvio Formento, pelas longas viagens de estudo durante esta caminhada.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE SIGLAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	1
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1 MERCADO DE CELULOSE E PAPEL	2
3.2 ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE <i>KRAFT</i>	3
3.3 RESÍDUOS SÓLIDOS E CASCA NA CADEIA PRODUTIVA	5
3.4 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE FLORESTAL	9
3.5 COLHEITA FLORESTAL	10
4. MATERIAIS E MÉTODOS	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
6. CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis fixadas no experimento de redução sujidade.	20
Tabela 2 - Percentual de sujidade, estratificação dos resíduos, produtividade e VMI dos tratamentos.....	24
Tabela 3 - Balanço financeiro (sem depreciação) do custo de transporte de resíduo x alteração de produtividade na colheita.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Harvester de esteira	13
Figura 2 - Cabeçote para colheita florestal.....	14
Figura 3 - Alteração no ângulo dos crivos dos rolos.....	18
Figura 4 - Estrias aplicadas no dorso do cabeçote.....	18
Figura 5 - Alteração no raio das facas inferiores.	19
Figura 6 - Aplicação de defletor na faca superior do cabeçote.....	20
Figura 7 - Local de passagem de casca solta no cabeçote.....	21
Figura 8 - Representação tritem florestal.	21
Figura 9 - Suporte metálico para separação da sujidade da madeira.	22
Figura 10 - Diferença (%) de resíduos totais, Casca solta e casca presa na madeira em relação à testemunha (ΔT).	25
Figura 11 - Diferença (%) de Madeira Fora de especificação, Areia/Terra e outros na madeira em relação à testemunha (ΔT).	26
Figura 12 - Distribuição dos contaminantes por tratamento.	27
Figura 13 - Produtividade do Harvester (m^3/h) nos tratamentos.....	28
Figura 14 - Diferença (%) de Resíduos, Casca solta e produtividade da colheita da madeira em relação à testemunha (ΔT).	28

LISTA DE SIGLAS

VMI – Volume Médio Individual, m³/árvore.

HV – Harvester.

FW – Forwarder.

Ti – Identificação dos tratamentos.

S (%) - Percentual de sujidade.

St (kg) - Peso total de sujidade da amostra.

Pt (kg) - Peso total da amostra.

Cs (%) - Percentual de casca solta.

Cst (kg) - Peso total de casca solta da amostra.

Pt (kg) - Peso total da amostra.

P (m³/h) - Produtividade.

N (um) - Número de árvores colhidas.

H (horas) – Horas operadas no período.

RESUMO

SILVA, Dório Anderson Vicente da. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2014. **Redução em campo da sujidade em toras de madeira de eucalipto para produção de celulose.** Orientadora: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho. Coorientadores: José Lívio Gomide e Acelino Couto Alfenas.

O objetivo do trabalho avaliar algumas alternativas para redução da sujidade nas toras de eucalipto sem casca, advindos do campo, para indústria de celulose, sem perda de produtividade nas atividades de colheita com o Harvester. Foram aplicados cinco tratamentos: alteração no ângulo dos crivos dos rolos do cabeçote; aplicação de estrias no dorso do cabeçote; redução do raio das facas inferiores do cabeçote; aplicação de chapa metálica no dorso exterior das facas superiores do cabeçote (defletor) e processamento da madeira na frente do Harvester, ou seja, longe da pilha (alteração de processo). Todos os tratamentos reduziram a sujidade, exceto a redução do raio das facas inferiores. O mais eficiente foi a alteração no processo. Porém, neste tratamento houve uma perda de 6,8% na produtividade. Quando analisada, a aplicação das estrias no dorso do cabeçote foi considerada a mais eficiente, pois reduziu a sujidade (-21 %) e aumentou a produtividade (+3,8 %). Quando analisado financeiramente a colheita e o transporte, seria mais viável transportar a sujidade do que trabalhar com menor produtividade na colheita.

ABSTRACT

SILVA, Dório Anderson Vicente da. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa. July, 2014. **Decrease in the dirt field in logs of eucalyptus wood for pulp production.** Advisor: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho. Co-Advisers: José Lívio Gomide and Acelino Couto Alfenas.

The aim of the study was to evaluate some alternatives for reducing dirt on eucalyptus logs without bark, coming from the field to the pulp industry, without loss of productivity in harvesting activities with the Harvester. Five treatments were applied: change in angle of the screens scrolls head; application of stretch marks on the back of the head; reduction of the radius of the lower head knives; applying the sheet metal back on the outside of the upper knife cylinder head (deflector), and processing the wood in front of the harvester, ie away from the stack (modification process). All treatments reduced the soil except the reduction of the radius of the lower knives. The most effective was the change in the process. However, in this treatment, a loss of 6.8% yield. When analyzed, the application of stretch marks on the back of the head was considered the most efficient because it reduced the dirt (-21%) and increased productivity (+3.8%). When analyzed financially harvesting and transportation, would be more feasible to transport the dirt than working with lower productivity in the harvest.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de celulose e papel é globalizado e muito competitivo, principalmente após a crise econômica mundial de 2008. O mundo pós-crise vem obrigando as empresas a serem mais eficientes para manter a lucratividade, sustentabilidade e viabilidade do negócio.

O principal item, que coloca o Brasil na vanguarda desse mercado, é a alta produtividade dos povoamentos. Porém, em várias regiões/empresas florestais a produtividade dos povoamentos está declinando. E estas florestas (madeira) são o maior custo da produção da celulose. Logo, detalhar seus processos de manejo e produção (pesquisa, viveiro, silvicultura, colheita e transporte) é necessário para aprimorar a produtividade e reduzir custos.

As operações que mais oneram o custo da madeira são a colheita e o transporte. Elas são também as responsáveis por levar uma considerável parcela de sujidade, que são os resíduos sólidos: galhos; folhas; casca; areia e terra para a indústria. Caso o processo produtivo não consuma estes materiais, parcial ou integralmente, eles devem ser deixados no campo.

Observa-se que nos últimos anos alguns sítios advindos de reforma, o Volume Médio Individual por árvore (VMI – m^3/arv) vem reduzindo, ficando em torno de 0,100 a 0,150 $m^3/árvore$. Há ainda um aumento de contaminação de casca solta na madeira descascada pelo harvester. Este aumento se dá, em sua maioria, devido à combinação: baixo VMI x Harvester x condição fisiológica da planta.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar algumas alternativas para redução da sujidade nas toras de eucalipto sem casca, advindos do campo de madeira de clones eucalipto para a produção polpa celulósica branqueada de eucalipto, através de alterações mecânicas e de processos sem perda para produtividade na colheita com harvesters.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 MERCADO DE CELULOSE E PAPEL

Dentre os países produtores de polpa celulósica branqueada de eucalipto, o Brasil ocupa a liderança na produção (ALMEIDA, 2003). O mercado de celulose e papel tem grande importância na economia brasileira. Segundo ABRAF (2013), o setor é responsável por:

- 621 mil empregos diretos;
- 1.319 mil empregos indiretos;
- R\$ 7,6 bilhões de pagamentos em impostos (0,48% da arrecadação nacional em 2012);
- US\$ 5,5 bilhões de saldo comercial (2012).

Segundo Vieira e Salum (2007), citado por De Paula (2011), houve uma mudança no eixo de produção de celulose, saindo do hemisfério norte e passando para o hemisfério sul. Com isto, a América do Norte perdeu 22% de participação da produção de celulose do mercado mundial, e a Europa, 5%.

Segundo Jorge (1998), as principais características da indústria de celulose, papéis e derivados são: presença de economia de escala; intensidade de capital e mercados internacionais importantes com flutuações de preços e pressões tecnológicas e comerciais oriundas do vetor ambiental. O setor de celulose e papel é de capital intensivo, pois envolve muitas etapas da floresta até o final da produção, sendo necessárias grandes áreas de terras para suprir a demanda de matéria-prima.

Fischer (2007) explica que a escala de produção das fábricas de celulose e papel é elevada, necessitando de intenso capital e com custos fixos elevados. Os esforços para a redução de custos são altos, principalmente após a crise econômica de 2008. Por um lado, os preços e o consumo de celulose caíram. Porém, a entrada de novos projetos e ampliações de fábricas aumentou a oferta.

As operações florestais que têm maior interface com a indústria são a colheita e o transporte. Estes processos tiveram enorme evolução em relação à eficiência e redução de custos no que diz respeito à colocação da madeira no pátio das fábricas. Apesar desta evolução, encontramos algumas lacunas para as quais buscam-se

constantemente melhorias, em especial no aspecto de contaminantes sólidos que chegam à indústria.

3.2 ETAPAS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE *KRAFT*

O processo Kraft consiste em atuar sobre a madeira na forma de cavacos, com a combinação de dois reagentes químicos: hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S). Obtém-se como resultado a dissolução da lignina e a liberação das fibras. Essas fibras liberadas constituem a “celulose” marrom ou massa marrom (CARREIRO, 2009).

Devido à severidade da polpação química, o licor negro gerado na digestão é extremamente rico em material orgânico de alto poder calorífico (contém aproximadamente metade da massa da madeira original), o que torna viável sua utilização como insumo energético; ademais, o processo também permite a recuperação de boa parte das substâncias químicas de digestão (CETESB, 2008).

A seguir, serão descritas, resumidamente, segundo Mieli (2007), as etapas para a fabricação de celulose:

- **Preparo da Madeira:** a madeira normalmente é entregue no pátio de madeira em forma de toras. A madeira que não foi descascada no campo. É descascada, normalmente, em descascadores mecânicos a seco. Em seguida é lavada para retirada de areia e terra;
- **Picagem da madeira:** depois de limpa, a madeira passa pelo processo de picagem e é transformada em cavacos para facilitar a dosagem no digestor e homogeneizar a distribuição e absorção do licor branco na madeira;
- **Digestão:** é realizada nos digestores, com uma mistura aquosa de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio, que entra em contato com os cavacos sob altas temperaturas e pressões. Em seguida é enviada para filtros lavadores onde a polpa celulósica é separada do licor negro. Neste estágio a polpa celulósica é chamada de polpa marrom, devido a lignina residual;
- **Branqueamento:** o processo de branqueamento tem por objetivo remover a maior parte da lignina residual e eliminar os componentes cromóforos que

permaneceram na polpa. É realizado por vários estágios de mistura da polpa com reagentes químicos, intercalados por uma lavagem. O número e tipo de estágios são definidos pelo uso final da celulose branqueada, da alvura desejada, tipo de material fibroso e número Kappa da polpa marrom;

- **Secagem:** após a última etapa de branqueamento, a celulose está com uma consistência de 10 a 14%. Ela é encaminhada para a secadora, que retira a umidade, transformando em uma folha de celulose com 90 a 95% de consistência.

Segundo o mesmo autor, após a lavagem/depuração, o licor negro segue o caminho da recuperação química, que tem a função de resgatar os químicos utilizados para o cozimento, gerar vapor e eletricidade. Contém as seguintes etapas:

- **Evaporação:** antes de ser queimado na caldeira de recuperação, o licor negro deve aumentar a concentração de sólidos. Para tal tarefa, o licor passa por evaporadores para a retirada da água até atingir um concentrado de sólidos secos acima de 65%;
- **Caldeira de recuperação:** local onde o licor negro concentrado é queimado em seu interior. Os compostos orgânicos são queimados e os sais inorgânicos são reduzidos a um fundido. O calor gerado é aproveitado para a geração de energia e vapor;
- **Caustificação:** No Fundido é adicionado carbonato de cálcio e Sulfeto de sódio, formando o licor Verde. O licor verde passa pela caustificação onde é tratado com hidróxido de cálcio e formam o Hidróxido de sódio (licor branco) e carbonato de cálcio (lama cal).

O processo *Kraft* tem como principal vantagem o sistema de recuperação dos produtos químicos associados a ele. Por outro lado, as desvantagens deste processo são: alto custo de implantação; mau odor dos gases resultantes do processo; baixa alvura após cozimento em relação a outros processos como o sulfito, por exemplo, baixo rendimento (40 a 50%); além de alto custo de branqueamento (SOSA, 2007).

3.3 RESÍDUOS SÓLIDOS E CASCA NA CADEIA PRODUTIVA

Segundo a Norma Brasileira (Resíduos Sólidos - Classificação), ABNT NBR 10004:2004, os resíduos sólidos pode estar estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

Para Russo (2003), resíduos sólidos compreendem os resíduos resultantes da atividade humana e animal sem utilização, ou indesejáveis pelo seu detentor, no entanto, com capacidades de valorização.

Segundo a Associação Brasileira de Técnica de Celulose e Papel -ABTCP (2008), resíduos sólidos¹ são as quantidades de resíduos gerados, por toneladas de produtos vendáveis, na produção de celulose e papel. Incluem em resíduos sólidos materiais como:

- Cascas da madeira;
- Cascas da madeira trituradas;
- Serragem (finos);
- *Oversize* (cavacos super dimensionados);
- Fundo de pátio (casca de madeira que sobra nos pátios);
- Rejeito de limpeza das toras antes de entrar no picador;
- Rejeito do digestor (no cozimento);
- Rejeito da depuração branqueada (no branqueamento);
- *Dregs*;
- *Grits*;
- Lama de cal (esporádico);
- Lodo do tratamento primário;

¹ Não incluir materiais resultantes de dragagem de lagoas e resíduos gerados em atividades (ABTCP, 2008).

- Lodo do tratamento secundário;
- Cinzas (Precipitador e a Grosseira);
- Aparas;
- Areia.

Estima-se que para cada tonelada de celulose produzida, 480 kg de resíduos são gerados (STEINER et al., 1990). Na indústria de celulose, a colheita e o transporte são responsáveis pela movimentação e/ou geração dos resíduos sólidos tais como: folhas; galhos; casca; areia; terra; pregos; grampos; projéteis e outros que chegam à indústria através da madeira.

Pode-se considerar que parte da sujidade da madeira seja devido à falta de proteção ao piso do pátio de estocagem. De acordo com Foelkel (2008), é necessária também a pavimentação do pátio de toras, pois essa ação poderia ajudar a evitar a contaminação da madeira.

Outra maneira de reduzir a contaminação dos cavacos é antes do processo de picagem, no caso de madeira com casca, que ela seja submetida à lavagem e/ou descascamento (LANDIM et al., 2001; FOELKEL, 2008; FREDDO et al., 1999; MIELI, 2007; HAMAGUCHI, 2007).

Almeida e Amaral, citados por Landim et al. (2001), relataram que melhorias feitas na lavagem de toras e a implantação do sistema de lavagem de cascas permitiram uma melhor utilização das facas, aumentando a vida útil do fio de corte nos picadores de toras e cascas da empresa. Esta melhoria foi devido à redução dos efeitos abrasivos dos contaminantes da madeira e da casca, tais como cascalhos, areia e objetos metálicos, que corroem rapidamente o fio de corte dos picadores.

Ribeiro (2010) afirma que em fábricas de celulose e papel não são necessárias caixas para retirada de areia. Porém, ocasionalmente, é necessária a instalação de um sistema de tratamento de efluente setorial no pátio de madeira, pois este pode conter muita areia.

Os rejeitos dos depuradores consistem em uma mistura de feixes de fibras, madeira mal cozidas, areia e partículas de *pitch*. Por essa razão, sempre que houver interesse em reciclar ou reusar esse rejeito, o mais indicado é separar a areia e os outros rejeitos inorgânicos do mesmo. O teor de inorgânicos em um resíduo desse tipo é de cerca de 5% a 8%, considerando base seca. Entre esses inorgânicos encontram-se areia, silicatos e compostos de sódio (FOELKEL, 2008). Ainda

segundo Foelkel (2008), a areia e terra encontradas no rejeito normalmente vão para o tratamento de lodos e são misturadas com outros contaminantes de maior toxicidade.

Outra área onde os resíduos inorgânicos, em especial a areia, causam problemas é na caldeira de biomassa. A areia e a terra contaminam a casca, podendo desqualificá-la como material combustível (FOLKEL, 2008), além de resultar em grande quantidade de cinzas (CANTO, 2009).

Segundo a Fibria (2013), os resíduos sólidos que chegaram da floresta em 2013, correspondem a 1,86% do total de madeira que chega à fábrica. Neste percentual temos:

- Casca: 93% (67% de casca solta e 26% de casca presa);
- Madeira fora de especificação: 3%;
- Outros: 4 % (galhos e folhas).

Desta forma, cerca de 17.300 toneladas de cascas são enviadas para a indústria para cada 1.000.000 de tsa de celulose por ano. Caso não haja demanda para esta casca na indústria ela deve ficar no campo.

Segundo vários autores, as cascas de eucalipto devem ficar no campo para evitar ou reduzir a exportação de nutrientes (PENNA, 2009; FERREIRA, 2008; Miranda, 2000; SANTANA, 1994; REIS et al., 1987; SILVA et al., 1983; REIS e HALL, 1987; TEIXEIRA et al., 1989; LADEIRA, 1999; MÜLLER, 2005), favorecer a ciclagem de nutrientes (LIRA FILHO, 1993), evitar impacto de maquinário no campo, evitar erosão (LIRA FILHO, 1993; SILVA, 1995), manter as condições físicas e químicas do solo (MIRANDA, 2000).

De um modo geral, o fuste representa de 70% a 80% da biomassa acima do solo e a copa de 20% a 30% do total, que, por sua vez, é responsável por cerca de 24% do acúmulo de nutrientes contidos na biomassa total, com destaque para o N, P e K (MÜLLER, 2005). Entretanto, autores como Schumacher e Poggiani (1993) e Vital et al., (1999) relatam que 60% do Ca e Mg estão na casca.

A casca protege a árvore contra agentes externos. Ela é dividida em: camada externa – composta de células mortas denominadas rídidas – e camadas internas, formadas por tecidos vivos que compreendem o floema e a região cambial (SZÜCS et al., 2005). Para a maioria das indústrias de celulose a casca é

considerada como resíduo sólido, exceto, quando parte ou sua totalidade é utilizada para geração de energia (elétrica ou vapor).

Segundo Foelkel (2014), há diversos tipos de cascas dos eucaliptos, mas as mais comuns são as seguintes:

- Cascas lisas e brilhosas: a casca morta se solta e deixa exposta uma casca lisa e normalmente muito clara. (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Corymbia citriodora*, *Corymbia maculata*, etc.);
- Cascas esfoliantes: que se soltam em pequenos pedacinhos, lembrando pedaços de papel se desprendendo. Ocorrem em espécies de casca lisas, em determinadas épocas do ano (*Eucalyptus grandis*);
- Cascas vermelhas ou sangrentas: na verdade são variantes também das cascas lisas, só que as cascas mortas que se soltam são de cores vermelhas ou marrons muito intensas (*Eucalyptus urograndis*, *Corymbia citriodora*).
- Cascas permanentes enrugadas, rugosas, suberosas e protuberantes, às vezes com aspectos de cordas ou de estrias: (*Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus acmenioides*, *Eucalyptus obliqua*, *Eucalyptus microcorys*)
- Cascas em forma de escamas: a casca externa não se solta, mas se rompe na forma de escamas ou de uma rede. (*Eucalyptus tessellaris*, *Eucalyptus cloeziana*).

A percentagem de casca varia de acordo com a espécie, entre as árvores de uma mesma espécie, ao longo do fuste da árvore e de acordo com as condições ambientais. A percentagem de casca difere na altura da árvore, sendo maior nas menores alturas do tronco (próximo à base) e estatizando nas maiores alturas (PAULO NETO et al., 1992 e LOPES et al. 2000). Comparando *Betula pendula*, *Eucalyptus Globulus* e híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, Duarte (2006), conclui que as espécies de eucaliptos terão um maior custo de transporte por terem maior quantidade de casca.

A quantidade de casca normalmente é representada por porcentagem em relação ao peso ou volume total da árvore. A quantidade depende da espécie, da idade, da posição na árvore e da dimensão da árvore (BARRICHELO et al., 1979, 1982). Alguns autores citam as seguintes quantidades: 10% a 18% (FOELKEL, 2014); 10% a 20% (HUSCH et al., 1972; MIRANDA, 2002; BARRICHELO et al., 1979, 1982; 17% a 38%, SILVA et al., 1983). O valor médio utilizado por empresas de celulose varia de 11% a 14%.

3.4 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE FLORESTAL

Ao longo do tempo, devido ao amadurecimento das empresas e exigências do mercado de trabalho, houve a necessidade de redução de custos e inserção na concorrência internacional.

A logística assumiu um grande papel na formulação das estratégias competitivas, deixando de ser uma simples operação de transporte e armazenagem de materiais. De acordo com Pires (2004), a logística engloba o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, custos efetivos de fluxos e estoque de matéria-prima, estoque circulante, mercadorias acabadas e informações relacionadas do ponto de origem ao ponto de consumo, com a finalidade de atender aos requisitos e à satisfação do cliente.

Segundo, Novaes (2004), logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associadas, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor.

O transporte florestal tem como objetivo levar a madeira colhida dos talhões até o local de consumo ou aos pátios das empresas. No Brasil, o transporte de madeira é realizado pelos sistemas ferroviário, marítimo, rodoviário e as interações entre eles. Segundo Stein et al. (2001), o modal rodoviário é responsável por 85% do transporte de toda a madeira e 62% de todos os produtos transportados no Brasil.

Em sua revisão Seixas (2003), descreve; “a importância do transporte por caminhões é marcante principalmente pela participação na composição do custo final da madeira posto fábrica. No caso particular de algumas empresas de celulose e papel e de chapas no estado de São Paulo, o custo do transporte de madeira das

florestas implantadas variava entre 38 e 66% do custo final de aquisição da madeira, posto fábrica, obtido para distâncias médias entre 45 e 240 km, respectivamente. Champion (1983), Duraflora (1984), Salmeron s.d., Martini e Leite (1988) citavam valores entre 40 e 50%, enquanto que Hakkila et al (1992) comentavam que o custo do transporte de madeira no Brasil era de aproximadamente 44%.

O transporte de madeira na maioria das empresas de celulose é terceirizado e o valor pago é em reais, por tonelada. Isto significa que qualquer material transportado que não seja madeira pode onerar o custo da madeira posto-fábrica. Miranda et al (2002), concluiu em seus estudos que o valor percentual acrescido no transporte da madeira, devido ao transporte da casca, é o próprio percentual da casca da madeira. Pode-se afirmar então que esta regra é válida para todo material que é transportado da floresta até a fábrica como areia, terra, galhos, folhas, etc.

3.5 COLHEITA FLORESTAL

A colheita florestal é fundamental no processo de produção de celulose, devido à sua representatividade no custo da madeira. O alto índice de gastos com a produção de colheita tem uma relação direta com elevada demanda de mão de obra especializada, com alto potencial de acidentes e alto investimento em máquinas e equipamentos.

O processo de mecanização da colheita tem se mostrado irreversível no Brasil, principalmente, em função da redução da dependência de mão de obra especializada, da necessidade de melhoria das condições de trabalho, da redução do custo final da madeira posto-fábrica e da necessidade, por parte das indústrias, de um fornecimento regular e em quantidades cada vez maiores de madeira (BRAMUCCI, 2001). Aproximadamente 60% a 70% do custo da madeira devem-se à colheita e ao transporte florestal (ANDRADE, 1998; MALINOVSKI et al., 2008).

O produto final da colheita é a madeira pronta para o transporte na beira do carregador. Este produto necessita atender à demanda da unidade consumidora em:

- Volume entregue com regularidade;
- Comprimento de toras;
- Descascamento ou não;
- Diâmetro mínimo e máximo;

- Custo;
- Contaminação/Sujidade.

No que diz respeito ao último item, considera-se contaminação tudo que possa contaminar a madeira e seu produto final, tais contaminantes podem ser: tinta; plástico; óleos; graxas; areia; terra; casca (solta e presa), metais; etc.

O sistema de colheita florestal pode ser descrito como junção de operações que devem estar interligadas e organizadas entre si, de modo que permitam uma produção constante de madeira, evitando-se pontos de estrangulamento e utilizando os equipamentos na máxima capacidade (SALMERON, 1981). Pode ser definido ainda como todas as atividades parciais; desde a derrubada da árvore até a madeira posta no pátio da indústria consumidora (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).

A colheita florestal é uma somatória de operações efetuadas no maciço florestal, com o objetivo de preparar e transportar a madeira até o seu local de consumo, utilizando-se técnicas e padrões preestabelecidos, tendo como finalidade transformá-la em um produto final (TANAKA, 1986). A colheita é a fase mais importante do ponto de vista técnico-econômico. Possui os processos de corte (derrubada, desgalhamento e processamento ou traçamento), de descascamento (quando necessário) e de extração e carregamento (MACHADO et al., 2008).

Malinovski e Malinovski (1998) classificam os sistemas de colheita de acordo com o comprimento das toras e forma de extração do local de processamento. Os sistemas são:

- *Sistema de Toras Curtas (Cut-to-length)*: sistema com o menor grau de mecanização. É caracterizado pelo desgalhamento e processamento feitos no local de abate da árvore. O comprimento da tora normalmente varia de 2,20m a 6,5m;
- *Sistema Fustes (Tree-length)*: é o sistema mais utilizado na América do Norte. Neste sistema, o desgalhamento e o destocamento da árvore são realizados no local de abate e o traçamento pode ser feito na borda do talhão, em pátios intermediários ou, ainda, no local de consumo da madeira;
- *Sistema de árvores inteiras (Full-tree)*: neste sistema a árvore é abatida e o seu processamento é realizado em locais pré-determinados;

- *Sistemas de árvores completas (Whole-tree)*: neste sistema a árvore é arrancada inteira, inclusive, com as raízes e posterior.

Existem várias máquinas utilizadas para a colheita florestal. As mais utilizadas no Brasil são: Harvester; Forwarder; Feller-Bunchers; Skider; garra traçadora; clambunk; cabo aéreo; motosserra; trator auto carregável; guincho; etc.

Os modais de colheita (combinação de máquinas de corte, processamento e baldeio) são variados. Os principais utilizados no Brasil são Harvester + Forwarder (MACHADO et al., 2008; BURLA, 2008; MOREIRA, 2000), Feller-buncher + skidder em sistemas de toras longas ou árvores inteiras (SEIXAS, 2008; BURLA, 2008; MOREIRA, 2000) e motosserra + cabo aéreo em áreas declivosas (CELULOSE ONLINE, 2009)

Existem vários modais/sistemas de colheita de madeira que variam de empresa para empresa, dependendo da topografia, do rendimento volumétrico dos povoamentos, dos equipamentos e dos recursos disponíveis (FIEDLER, 1995).

A seleção de máquinas, bem como a melhor combinação entre elas – nas etapas de corte, extração (baldeio) e transporte primário – deve ser baseada, conforme Seixas (2008), em aspectos técnicos, econômicos e ambientais, minimizando impactos ao solo e cursos d'água, poluição por combustíveis e lubrificantes.

Para a madeira descascada a máquina mais utilizada é o Harvester, para o corte e processamento, e Forwarder para baldeio.

O Harvester, trator conhecido como colhedora florestal, é automotriz e tem a finalidade de cortar e processar árvores dentro da floresta. O seu sistema de rodados pode ser com pneus em tandem ou esteiras. Possui conjunto motriz com alta mobilidade e boa estabilidade, cabeçote de múltiplas funções: segurar; levantar; cortar; desgalar; torar e empilhar (MARTINS, 2008). É uma máquina autopropelida, constituída por um conjunto motriz de alta mobilidade dentro da floresta e boa estabilidade, um braço hidráulico e um cabeçote processador (AMABILINI, 1991). É composta de uma unidade de potência, lança telescópica e unidade processadora (SILVEIRA, 2001).

No Brasil, a maioria dos Harvesters é de esteira (Figura 1) devido aos plantios realizados em áreas com topografia plana ou suave ondulada, menor custo de aquisição, menor custo de manutenção, maior facilidade de encontrar peças

(máquina base) e bom valor residual. Boa parte destas máquinas é direcionada para escavação após o término de vida útil na colheita florestal.

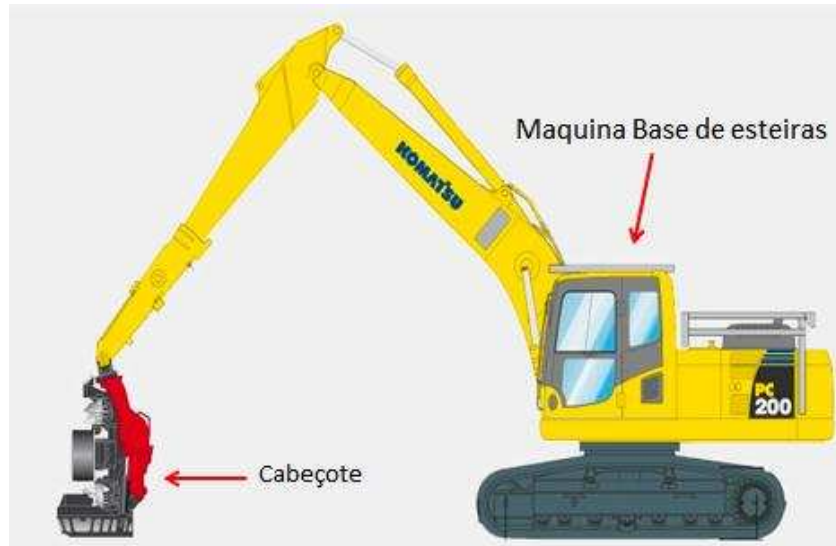


Figura 1 - Harvester de esteira

O cabeçote é constituído de braços acumuladores (preensores), cuja finalidade é segurar e levantar a árvore após o corte. Neste tipo de trator, a movimentação e o acionamento dos dispositivos que compõem o cabeçote são realizados pelo operador, que empunha um *joystick*. Em alguns modelos, o corte é realizado por uma serra, um sabre ou um disco, com árvores posicionadas horizontalmente e movimentada por rolos dentados ora para esquerda, ora para a direita, de forma que o descasque e o desgalhamento seja realizado por uma estrutura metálica de corte (LIMA e LEITE, 2002). No caso de o *one grip* Harvester, o cabeçote derruba, desgalha e traça, e, em se tratando de o cabeçote *two grip* Harvester, somente derruba, sendo o desgalhamento e o traçamento feitos em implementos localizados sobre o eixo traseiro da máquina base (SANTA'ANNA, 2002). Então, iniciam-se a toragem e o empilhamento, de acordo com a finalidade da madeira colhida, com a vantagem de alguns modelos possuírem um sistema de informação que determina e registra o volume de madeira processada no turno de trabalho (SIMOES, 2008). Exemplo de cabeçote encontra-se na Figura 2.

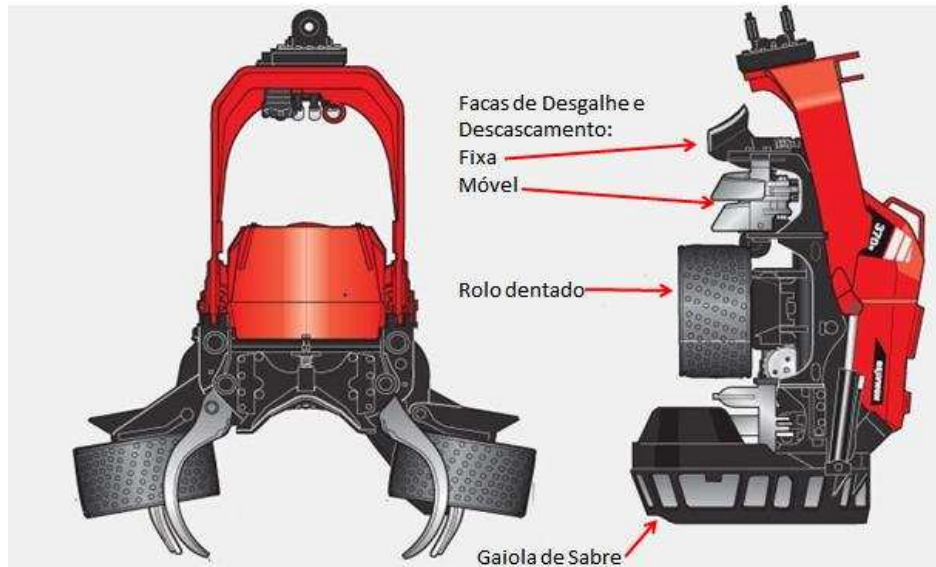


Figura 2 - Cabeçote para colheita florestal

Os Harvester são máquinas de avançada tecnologia e muito bem aceitas pela capacidade que possuem de operar em condições variadas e em situações adversas. A situação ideal e operação são encontradas em florestas com árvores de volume entre $0,25 \text{ m}^3$ e $0,35 \text{ m}^3$ por árvore, em espaçamentos abertos (por exemplo, $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$). São máquinas adequadas para operações com toras desde 2 m até 6 m (BURLA, 2008)

A produtividade de uma máquina de colheita depende de várias condições, sendo as mais importantes: clima; escala de produção; capacidade de suporte do terreno; topografia; características das árvores (tipo de casca, volume etc.); características da floresta (idade, rendimento, etc.) e do sistema de colheita e da capacidade do operador (SEIXAS, 1998; MALINOVSKI et al.; 2002).

A variável que mais afeta a produtividade do Harvester é o rendimento volumétrico da floresta (FIEDLER, 1995; BURLA, 2008; MOREIRA, 2000; EQUIPE TÉCNICA DA DURATEX, 1999; HOLTZSCHER e LANFORD 1997; SANTOS e MACHADO 1995; RICHARDSON e MAKONEM, 1994; BRAMUCCI, 2001; VALVERDE et al, 1996; SANTOS et al., 1995; WADOUSKI, 1987; BRUN, 2002; MARTINS, 2008; SPINELLI et al.; 2002; ELIASSON e LAGESON, 1998; JIROUSEK et al., 2007).

A menor produtividade do sistema com descascamento de madeira, quando operando em árvores de menor porte, pode ser atribuída ao tempo gasto com o

descascamento, que é praticamente o mesmo em árvores de maior porte, especialmente no que se refere ao diâmetro (BRAMUCCI, 2001).

As florestas de baixo rendimento são uma realidade em muitas empresas, em especial as florestas de reforma/rebrota, causando muitas dificuldades operacionais, tanto na colheita e transporte como na indústria. No passado, muitas dessas dificuldades foram superadas devido à utilização de espécies com grandes dimensões e elevadas idades, levando a certa uniformidade. Atualmente, essa possibilidade está tornando-se mais remota. Cada vez mais as árvores são caracterizadas por pequenas dimensões e grande variabilidade (BODIG, 1993). Para a indústria atual, a madeira juvenil é a realidade da matéria-prima, adaptações de processo para esse material são cada vez mais frequentes.

O custo de transporte pode ser afetado em função dos fatores de empilhamento maiores, obtidos pelos menores volumes individuais (aumento da quantidade de “espaços vazios” na carga de toras maciças). Além disto, na maioria dos casos, os diâmetros mínimos que possibilitam a utilização do equipamento de descascamento e picagem na fábrica são atingidos apenas após esta idade (BRUN, 2008)

O desafio de colher florestas com baixa produtividade e baixo volume individual deve-se principalmente à criação de novos mercados e produtos, onde se pode destacar a implementação de florestas energéticas e aos povoamentos que não atingiram os incrementos desejáveis. Tais mudanças podem não só redefinir os sistemas de colheita florestal, bem como influenciar a mudança no porte das máquinas (LOPES, 2012).

Atualmente, o descascamento da tora é considerado fundamental para evitar os problemas de qualidade da celulose. Esta etapa pode ser realizada no momento da colheita, pois existem equipamentos (Harvester) capazes de descascar a tora imediatamente após o abate, sendo melhor do ponto de vista ambiental, pois as cascas auxiliam na ciclagem de nutrientes do solo (BARBOSA, 2013).

O descascamento tem por objetivo separar a casca do tronco, em razão das necessidades do produto final. Entretanto, algumas empresas optam por realizá-lo na indústria, em vez de no campo, visando muitas vezes a utilização da casca como fonte de energia. Por isso, considera-se o descascamento uma atividade opcional, podendo ou não fazer parte do corte florestal (SANT'ANNA, 2002). O descascamento no campo pode ser feito de forma manual – facões ou machadinha

– ou mecanizada – com descascador mecânico móvel ou por meio de cabeçote Harvester (SILVA, 2012).

As cascas de eucalipto não se fragmentam em pedaços pequenos quando submetidos as forças dentro dos tambores descascadores (descascamento na fábrica). Esta característica é comum em pinus e não em eucalipto. As cascas de eucalipto tendem a se separar das toras e formarem pedaços compridos como fitas ou cordas (FOELKEL, 2014). Este comportamento da casca de eucalipto também acontece quando a madeira é descascada por Harvester na floresta, sendo um dos maiores formadores de casca solta na madeira descascada.

Alguns fatores influenciam na qualidade final do descascamento e na quantidade de resíduos no processo de colheita:

- *Florestas de baixo rendimento volumétrico*: observa-se que quanto menor o VMI da floresta maior a quantidade de casca que passa pelos processadores;
- *Material genético*: há clones e espécies em que a casca solta com maior facilidade, outros nem tanto;
- *Condição Fisiológica da planta*: a condição fisiológica afeta diretamente a agregação da casca ao tronco. Dentre as causas, as mais importantes são: condições de déficit hídrico (a casca fica mais agregada ao tronco, dificultando o descascamento); distúrbios genéticos (normalmente dificulta o descascamento) e danos na floresta (como exemplos vento ou fogo);
- *Equipamento utilizado*: existem equipamentos com melhor performance de descascamento que outros. Uns dos maiores problemas atualmente é que não temos muitos equipamentos adaptados para florestas de baixo rendimento. A maioria dos equipamentos não está adaptado para este tipo de floresta. Alguns fabricantes estão lançando equipamentos de menor porte. Porém, estes não passaram pela “tropicalização”, que seria adaptá-los para a colheita de eucalipto sem casca;
- *Regulagem do equipamento*: equipamentos desregulados interferem diretamente na qualidade do descascamento e aproveitamento da floresta, além da produtividade do equipamento;

- *Operador*: quanto maior a qualidade, treinamento e experiência do operador melhor será o descascamento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As florestas em estudo são de uma empresa produtora de polpa celulósica de eucalipto que tem florestas no Extremo Sul da Bahia e no Norte do Espírito Santo. São florestas clonais de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

As alternativas propostas para teste foram fruto de benchmark em três empresas de celulose aliadas às propostas de técnicos de campo. Destas foram selecionados cinco diferentes alternativas implementadas a nível operacional (T_i):

T1 – Alteração no ângulo dos crivos dos rolos de 45° para 50°. Objetivo de forçar a tora a girar no momento que passa pelos rolos, aumentando a eficiência do rolinho do dorso do cabeçote e rompendo as ficas de casca. Esta implementação é considerada de média dificuldade não sendo *standard* no fabricante do equipamento (Figura 3).

T2 – Aplicação de estrias (pequena barra metálicas) soldadas no dorso do cabeçote. Objetivo de melhorar o descascamento e fazer a tora girar. Alteração com maior facilidade de ser realizada e com menor custo de implementação e manutenção (Figura 4).

T3 – Redução do raio das facas inferiores. Objetivo de aumentar o contato da madeira com as facas, adaptando-se às florestas de baixo VMI. Foi retirada a face cortante das facas superiores e adaptada nas facas inferiores. Esta implementação é considerada de média dificuldade não sendo *standard* no fabricante do equipamento (Figura 5).

T4 – Aplicação de chapa metálica no dorso exterior das facas superiores. Foi chamado de defletor para evitar que as fitas de casca passem para a pilha de madeira (Figura 6). Objetivo é não deixar as fitas de casca irem para a pilha. Esta implementação é considerada de média dificuldade, com algumas ressalvas devido ao peso extra nas facas, que pode afetar alguns componentes (Figura 6)

T5 – Processamento afastado da pilha. O operador traciona a tora por aproximadamente 6 m em frente ao Harvester. Objetivo de reduzir a quantidade de

casca que vai para a pilha de madeira, uma vez que a maior parte do descascamento é feito longe da pilha.

T6 – Testemunha: processamento da tora é feito tracionando-a por aproximadamente 3 m e o processamento feito na frente da pilha de madeira.

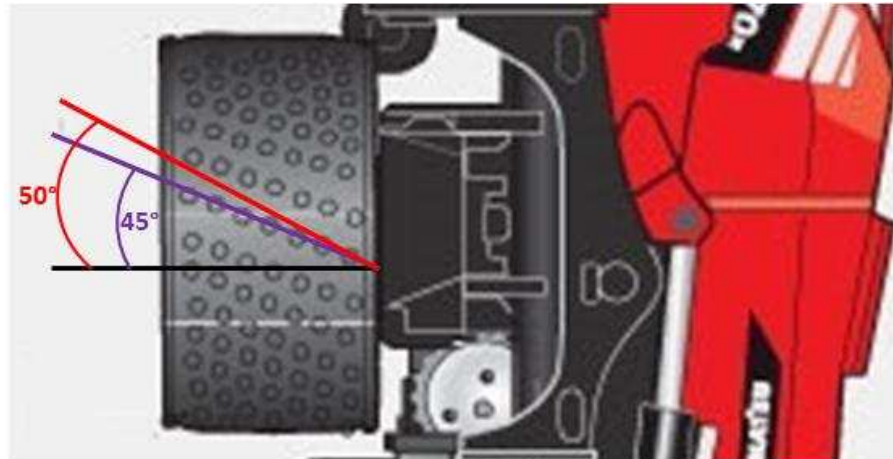


Figura 3 - Alteração no ângulo dos crivos dos rolos.

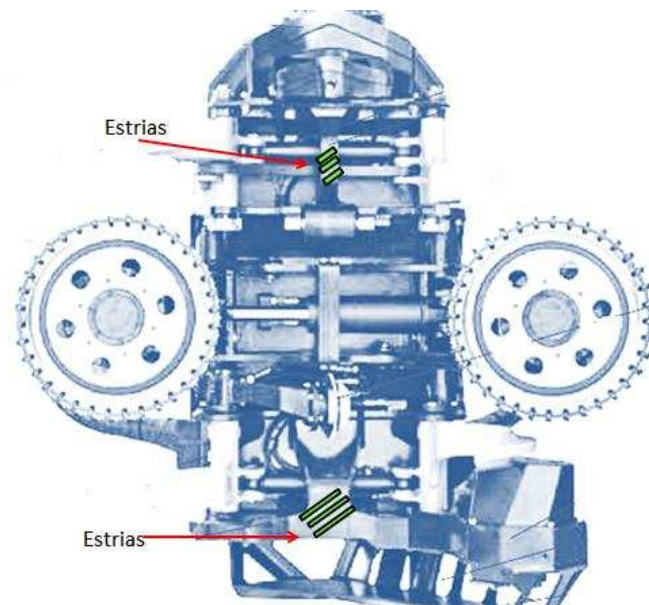


Figura 4 - Estrias aplicadas no dorso do cabeçote.

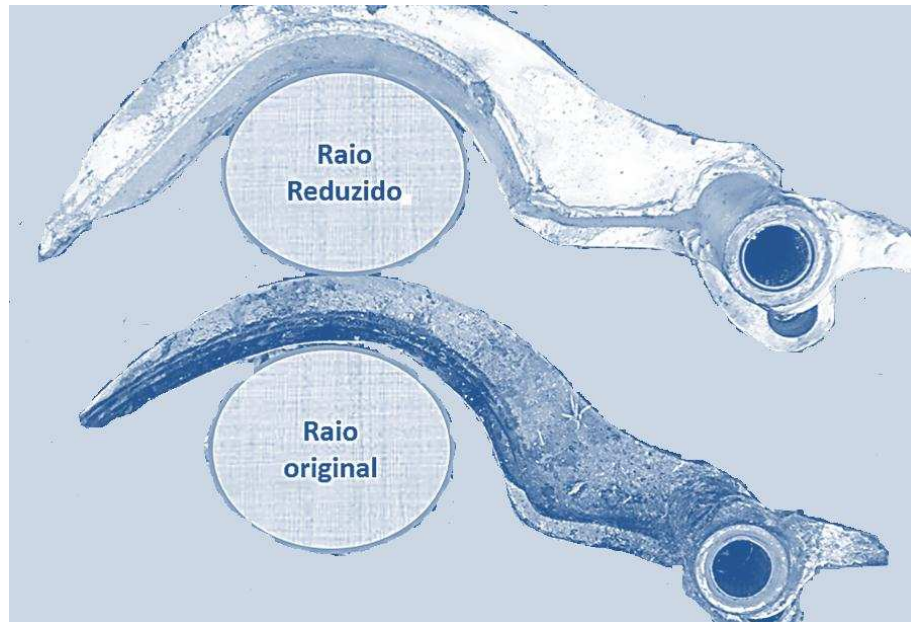


Figura 5 - Alteração no raio das facas inferiores.

O modelo dos Harvesters de esteiras utilizado foi PC200F, com cabeçote 370E ambos da Marca Komatsu.

As áreas florestais utilizadas para a experimentação tiveram como base de escolha talhões com clones e volumes representativos da base florestal. Cada parcela foi dimensionada para produzir aproximadamente 200m³. Este volume é suficiente para descarte das bordaduras do talhão. No caso de alguma amostra fosse perdida haveria madeira para substituí-la para novas repetições. As parcelas foram identificadas e separadas por tratamento.

Para determinar o efeito de cada tratamento na quantidade de casca solta foram fixadas algumas variáveis (Tabela 1), com o objetivo de isolar somente o efeito de cada tratamento no experimento.

Tabela 1 - Variáveis fixadas no experimento de redução sujidade.

Variável	Método de controle
<i>Material genético</i>	Foi utilizado somente um clone que tem problema com a casca solta, para averiguar a eficácia dos tratamentos.
<i>Condição Fisiológica da planta</i>	A colheita, processamento e baldeio foram feitos na mesma época e talhão.
<i>Regulagem do equipamento</i>	Antes de iniciar a colheita dos tratamentos, os equipamentos tiveram o mesmo <i>setup</i> de regulagem.
<i>Operador</i>	Foram utilizados os mesmos operadores em todos os tratamentos e os profissionais passaram pelo mesmo treinamento antes da colheita.
<i>Florestas de baixo rendimento volumétrico</i>	Para não haver diferenças entre VMIs foram feitos os tratamentos no mesmo talhão.

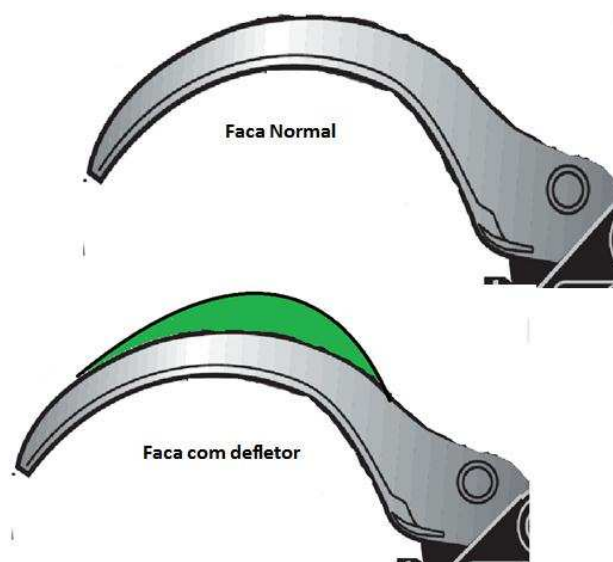


Figura 6 - Aplicação de defletor na faca superior do cabeçote.

Antes de iniciar a colheita de cada tratamento, os equipamentos foram revisadas com o objetivo de garantir a mesma regulagem, assim como os

operadores tiveram uma reciclagem operacional, garantindo o mesmo procedimento em cada tratamento. Os equipamentos e operadores foram escolhidos aleatoriamente.

Após o corte, processamento e extração, a madeira foi empilhada na beira do carreador. De cada parcela, foram retiradas 2 cargas de madeira com aproximadamente 50m³ cada. O transporte foi realizado por tritens (Figura 8) e levado para unidade industrial. A distância do experimento à unidade industrial foi de 360 km. O carregamento foi efetuado por guas.

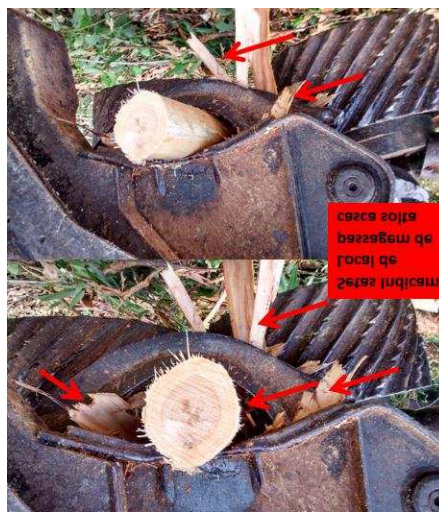


Figura 7 - Local de passagem de casca solta no cabeçote.

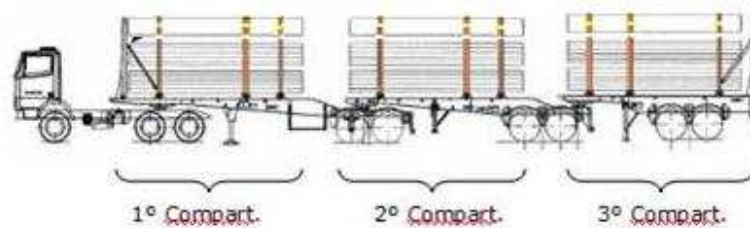


Figura 8 - Representação tritem florestal.

A medição dos resíduos e os contaminantes foi realizada no pátio industrial, com a pesagem dos tritrens e retirada de amostra da carga para fazer a relação peso/volume através do PIVOTEX. Em seguida, foi retirado um compartimento de cada tritem para amostragem. O tritem foi novamente pesado para se obter o peso do compartimento amostrado. O restante da carga seguiu para as mesas de consumo.

Os equipamentos utilizados no experimento foram:

- Seis Harvesters de esteira de 21 toneladas com cabeçote 370E ambos da marca Komatsu;
- Um Forwarder 6 x 6 modelo 890.3 da marca Komatsu;
- Uma Grua Carregadeira de esteiras de 21 toneladas;
- Uma Balança com tanque de água e grua para medição de madeira (PIVOTEX);
- Uma Carregadeira de pneus volvo *High-Lift*;
- Vinte e quatro Tritens, são carretas com 3 compartimentos de carga tracionados por um cavalo mecânico (Figura 8).

Para separar a sujidade das toras de madeira, elas são “batidas” em suporte suspenso por meio de uma carregadeira (Figura 9). Abaixo do suporte havia uma lona onde ficava retido os resíduos. Em seguida o material recolhido era separado manualmente 5 contaminantes: Casca presa; Casca solta; Areia; Madeira fora de especificação e Outros. Na sequência cada contaminante foi pesado separadamente.

Foi considerada madeira fora de especificação toras com diâmetro menor que 2 cm ou maiores que 45cm e/ou comprimento menor que 3,5 m ou maior que 6,5 m.



Figura 9 - Suporte metálico para separação da sujidade da madeira.

No caso da casca presa é feita uma sub-amostragem, onde se utiliza cerca de 10 toras, que são pesadas e retiradas as cascas presas existentes. Em seguida é pesada a quantidade de casca e calculada pela fórmula de sujidade.

Fórmula para cálculo de sujidade:

$$S = \frac{St}{Pt} \times 100$$

Onde:

S (%) = Percentual de sujidade.

St (kg) = Peso total de sujidade da unidade de amostra.

Pt (kg) = Peso total da unidade de amostra.

Para o cálculo de percentual de casca solta foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Cs = \frac{Cst}{Pt} \times 100$$

Onde:

Cs (%) = Percentual de casca solta.

Cst (kg) = Peso total de casca solta da unidade de amostra.

Pt (kg) = Peso total da unidade de amostra.

As produtividades foram calculadas para cada tratamento através da fórmula:

$$P = \frac{N \times VMI}{H}$$

Onde:

P (m³/h) = produtividade.

N (um) = Número de árvores colhidas.

VMI (m³/arv) = Volume médio por árvore do Inventário Pré-corte.

H (horas) = Horas operadas no período.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 mostra os resultados da sujidade, produtividade e o volume médio individual por árvore analisada. Verifica-se que todos os tratamentos, quando comparados com a Testemunha tiveram redução na quantidade de resíduos totais exceto o Ângulo do Crivo Alterado.

Tabela 2 - Percentual de sujidade, estratificação dos resíduos, produtividade e VMI dos tratamentos.

Tratamento	Resíduos Total (%)	Casca Solta (%)	Casca Presa (%)	Madeira Fora Especificação (%)	Areia/Terra (%)	Outros (%)	PRODUTIVIDADE (m ³ /h)	VMI (M ³ /árvore)
Ângulo Crivo Alterado	1,70	1,35	0,31	0,00	0,01	0,03	11,66	0,080
Estrias no Dorso	1,13	1,02	0,05	0,00	0,01	0,05	11,25	0,080
Red. Ângulo Facas	1,36	1,07	0,22	0,00	0,01	0,06	11,59	0,080
Defletor	1,20	0,94	0,16	0,03	0,03	0,05	11,34	0,080
Proc. frente HV	1,11	0,91	0,10	0,01	0,04	0,05	10,17	0,080
Testemunha	1,44	1,17	0,15	0,00	0,01	0,11	10,84	0,080

A floresta onde foi realizado o experimento é de baixo desempenho, com árvores com VMI de 0,080 m³/árvore. Condição que, segundo Burla (2008), não é ideal para operar com Harvester por serem em florestas com rendimento abaixo de 0,250 m³/árvore.

Quando estes resultados são analisados numericamente, existem diferenças que se deve considerar, pois temos uma redução de 23% e 21% da sujidade total no processamento afastado da pilha e com a aplicação das estrias no dorso, respectivamente, quando comparamos com a testemunha, estes resultados são expressivos para a indústria, como observado na Figura 10.

A aplicação dos defletores teve uma redução de 16 %, mostrando que foram eficientes e impediram que os resíduos passassem para a pilha. Porém, a aplicação das estrias no dorso e o processamento afastado da pilha foram mais eficientes. A aplicação das estrias no dorso é uma alteração mais simples de ser aplicada e o processamento afastado da pilha sem alteração no cabeçote. A redução dos ângulos das facas teve uma redução de apenas 5 %, valor pequeno em detrimento à complexidade da alteração (Figura 10).

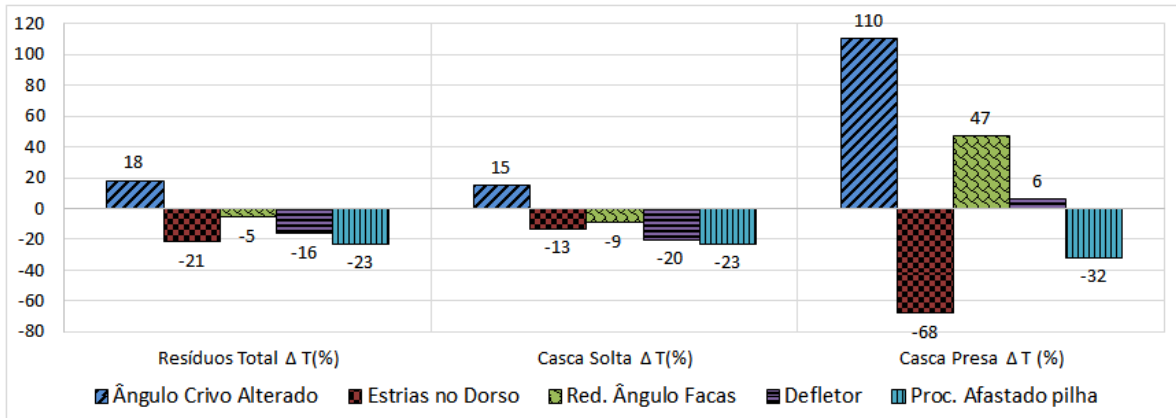


Figura 10 - Diferença (%) de resíduos totais, Casca solta e casca presa na madeira em relação à testemunha (ΔT).

De acordo com a Figura 10, exceto o a alteração do ângulo dos crivos dos rolos (+15 %), todos os tratamentos reduziram a quantidade de casca solta na madeira, em: -23 % para o processamento afastado da pilha; -20 % para o defletor; -13 % para aplicação das estrias no dorso e 9 % para redução no ângulo das facas.

Como pode ser observado na Figura 12, a casca solta é o item de maior peso na composição de sujidade total, seguida pela casca presa. Estes valores são maiores que a Fibria (2013) cita. Isto deve-se ao fato de que a redução de percentagem de sujidade é uma menor quantidade de casca presa (devido a menor percentagem de sujidade total e menor quantidade de casca presa). Pela figura nota-se que quanto menor a proporção de casca presa, madeira fora de especificação, areia/terra e outros se aumenta a proporção de casca solta, mesmo que o resíduo total seja menor.

O defletor teve uma maior eficiência na redução da casca solta devido ao impedimento físico de passagem da casca. Porém, este tratamento foi menos eficiente que a aplicação das estrias no dorso do cabeçote e o processamento afastado da pilha na redução da sujidade (Figura 10). Durante o teste observou-se, na aplicação do defletor, um desgaste maior nos pinos das facas do cabeçote, aumentando o custo de manutenção e diminuindo a disponibilidade mecânica. Isto deve-se ao peso extra acrescentado nas facas. Para aplicá-lo há necessidade de reforços nestas peças ou confecção com materiais mais leves.

A aplicação das estrias no dorso do cabeçote teve uma sujidade total menor. Devido à melhoria no descascamento, visto que este tratamento teve o menor percentual de casca presa, uma redução de 68 % (Figura 10). Esta alteração

poderia ser uma solução para florestas com distúrbios clonais e fisiológicos onde a casca está mais aderida ao tronco.

Outro tratamento que teve redução na casca presa foi o processamento na frente do HV. Pois a madeira passa por mais tempo pelos rolos, como pode ser verificado na Figura 14, porém foi constatado efeito negativo na produtividade.

Na Figura 11 estão expressos os resultados dos contaminantes: madeira fora de especificação; areia/terra e outros. Em todos os tratamentos tiveram baixos valores quando comparados com casca solta e casca presa, não oferecendo grande impacto. Apesar de não haver diferenças estatísticas entre os tratamentos numericamente esses resultados podem afetar operacionalmente e economicamente as atividades.

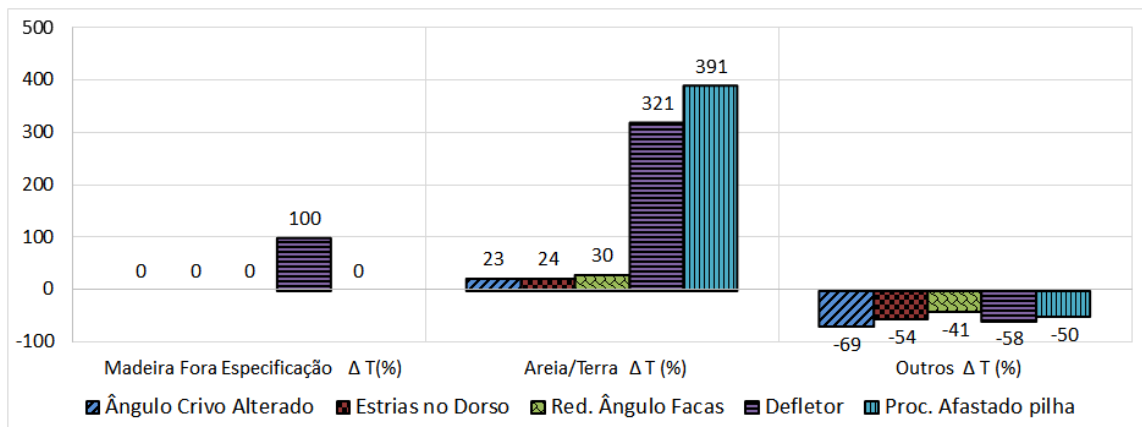


Figura 11 - Diferença (%) de Madeira Fora de especificação, Areia/Terra e outros na madeira em relação à testemunha (ΔT).

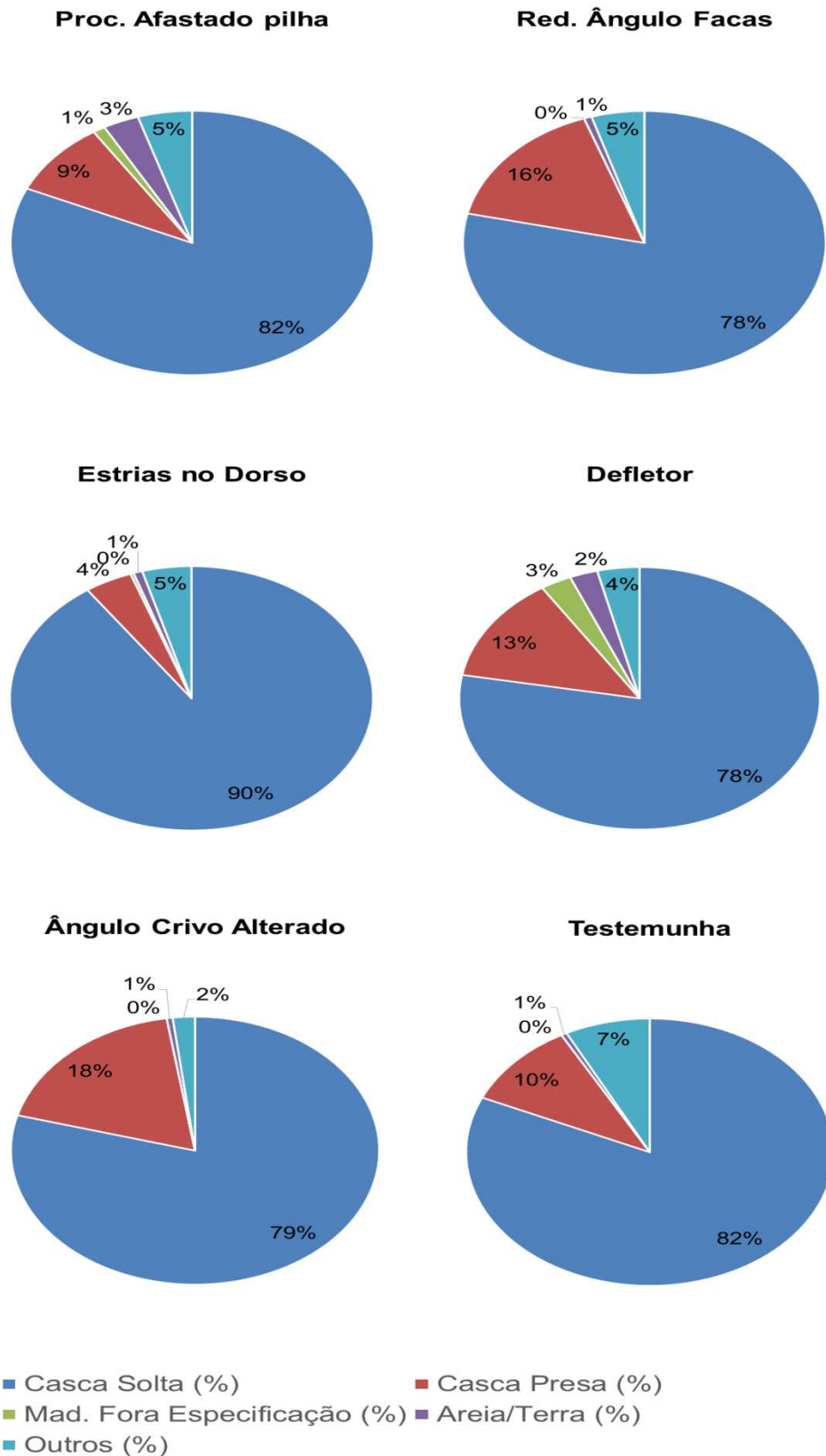


Figura 12 - Distribuição dos contaminantes por tratamento.

De acordo com a Figura 13, as produtividades dos tratamentos variaram de 10,17m³/h a 11,66 m³/h. Estes valores são superiores aos citados por Burla, (2008),

que relata que em florestas com VMI de 0,10 a 0,15 m³/árvore, a produtividade varia de 8 a 12 m³/h.

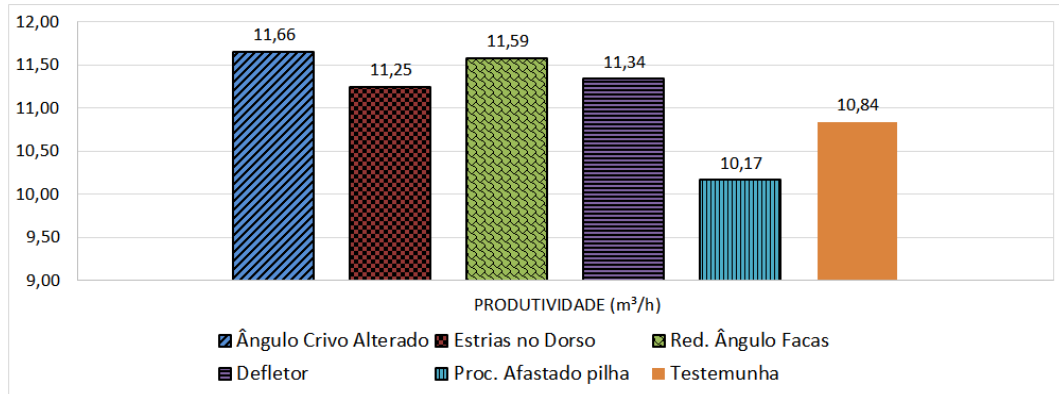


Figura 13 - Produtividade do Harvester (m³/h) nos tratamentos.

Todas as alterações mecânicas aumentaram a produtividade da colheita. Sendo que o maior ganho foi na alteração dos crivos da capa de rolo (+7,5%), devido ao aumento da velocidade de passagem da tora pelo cabeçote (Figura 14).

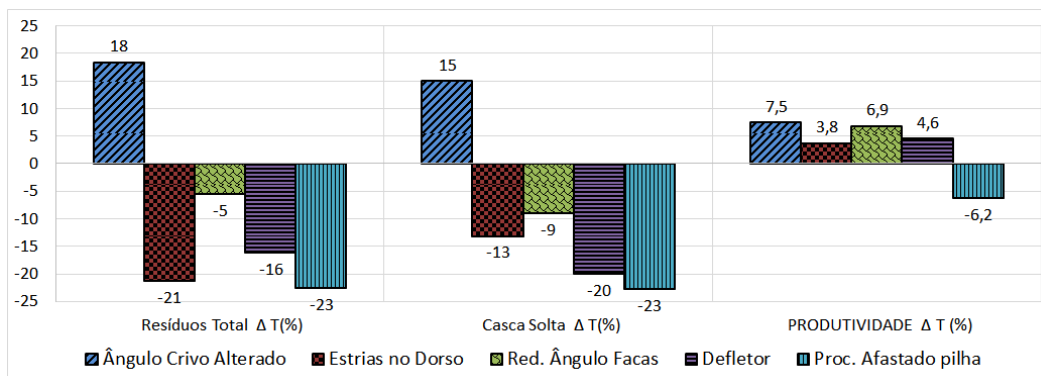


Figura 14 - Diferença (%) de Resíduos, Casca solta e produtividade da colheita da madeira em relação à testemunha (Δ T).

Por outro lado, o processamento afastado da pilha reduziu a produtividade do Harvester em 6,2% (Figura 14), o que equivale a redução de 3.162m³ produzidos por máquina/ano nas condições de floresta do experimento. Este dado reforça a necessidade de alterações mecânicas no cabeçote para redução da sujidade sem a perda de produtividade da máquina. É importante ressaltar que todas as alterações aumentaram a produtividade do Harvester. Se os resíduos não forem problema para

a utilização da madeira, deve-se testar sua eficiência nas condições da floresta para verificação os resultados.

Quando analisados todos os resultados do teste, em especial a figura 14, focando em redução de resíduos sem redução e produtividade, aplicação de estrias no dorso do cabeçote, a redução no ângulo das facas e o defletor são os que tiveram melhor desempenho, já que reduziram os resíduos e aumentaram a produtividade do Harvester.

O defletor, como dito anteriormente, causou desgaste prematuro de peças, além de precisar de usinagem e solda para aplicação, quase artesanal, já que não é um item de estoque do fabricante. O mesmo acontece com a redução no ângulo das facas. Desta forma, podemos afirmar que a aplicação de estrias no dorso do cabeçote é, neste caso, a melhor opção, pois teve uma redução significativa do percentual de resíduos, melhorou o descascamento e aumentou a produtividade do Harvester.

Miranda et al (2002), concluíram em seus estudos que o valor percentual acrescido no transporte da madeira, devido ao transporte da casca, é o próprio percentual da casca da madeira. Numa simulação de um balanço financeiro alterando a produtividade da colheita, analisa-se, levando em consideração os itens (Tabela 3):

- Custo de Colheita: R\$ 22,00 /m³;
- Horas operadas (Hv): 4719 h/ano;
- Peso específico de transporte (PET): 0,90 ton./m³;
- Custo transporte: R\$ 35,00/ton.

Como relato de Miranda (2002), quanto maior o teor de resíduo, maior é o custo do seu transporte. Porém, a Tabela 3, mostra que quando se reduz a produtividade para redução de resíduos, financeiramente não é viável, quando são levados em consideração colheita x transporte. Para um Harvester com perda de produtividade de 6,9% (Processamento afastado da pilha), há um prejuízo de R\$ 86.379,00 em um ano ou perda de 3.612 m³/ano produzidos.

Tabela 3 - Balanço financeiro (sem depreciação) do custo de transporte de resíduo x alteração de produtividade na colheita.

Tratamento	Resíduos (%)	PRODUTIVIDADE (m³/h)	Diferença vol. (m³/ano)¹ (A)	Custo de (A) (R\$/ano)² - (B)	Transp. Residuo (Ton)³	Custo Transp. Residuo (R\$)⁴ - (C)	Diferença (C-B) (R\$)
Proc. Afastado pilha	1,11	10,17	-3.162	-69.558	481	16.821	-86.379
Testemunha	1,44	10,84	0	0	661	23.137	0
Estrias no Dorso	1,13	11,25	1.947	42.825	540	18.903	23.922
Defletor	1,20	11,34	2.360	51.909	580	20.299	31.610
Red. Ângulo Facas	1,36	11,59	3.516	77.344	668	23.372	53.973
Ângulo Crivo Alterado	1,70	11,66	3.846	84.612	842	29.464	55.147

OBS.: 1- Volume referente a diferença de produtividade da testemunha. Considerando 13 horas trabalhadas por dia e 363 dias no ano

2 - Diferença de volume (A) x custo de colheita (R\$ 22,00/m³)

3 - Volume produzido (produtividade x 13 horas trabalhadas por dia x 363 dias) x percentual de resíduo x Peso específico de Transporte (PET = 0,900 Ton/m³)

4 - Considerando custo de transporte em R\$ 35,00 /ton

Por outro lado, quando se eleva a produtividade e aumenta-se o percentual de resíduo (ex. Alteração no ângulo dos crivos dos rolos), há ganho financeiro, pois o ganho na produtividade da colheita é maior que o custo de transporte do resíduo.

Neste contexto, reforça-se, que, neste caso, a aplicação de estrias no dorso do cabeçote torna-se mais viável, pois há ganho de produtividade, menor custo de transporte de resíduo e, das modificações propostas, além de menor impacto financeiro de implantação e manutenção.

No entanto, esta análise deve ser considerada com restrições, pois não foram considerados a exportação de nutrientes, a destinação final dos resíduos na fábrica e os impactos na produção de cavacos.

No caso de exportação de nutrientes, com a redução do teor de sujidade, esses elementos permanecem na floresta mitigando a sua exportação.

Foelkel (2014) relata que num processo produtor de polpa celulósica, a cada 1% de casca em peso que aumenta na fábrica reduz 0,5% da produção diária desta fábrica. Logo, como exemplo, o tratamento aplicação das estrias no dorso, reduziu 0,25% de casca na madeira. Esta alteração evita uma perda na fábrica de 0,12% da sua produção diária.

Um alerta importante é testar as alterações para verificar o comportamento na interação Floresta x equipe x equipamento.

Vale ressaltar que a regulagem de todos os equipamentos antes da colheita bem como o funcionamento de todos os sensores (em especial de diâmetro e comprimento) são fundamentais para melhoria da produtividade e redução dos resíduos.

6. CONCLUSÕES

- As alterações realizadas no cabeçote reduziram o percentual de sujidade e casca solta, exceto a alteração no ângulo dos crivos dos rolos.
- As alterações no cabeçote aumentaram a produtividade.
- A menor quantidade de resíduos foi obtida alterando o procedimento de processamento da árvore. Porém, esta alteração resultou em perda produtividade.
- Considerando Resíduos e Produtividade o tratamento T2 – aplicação de estrias no dorso do cabeçote – é o melhor. Neste caso, opção de aplicação no campo.
- A redução da quantidade de resíduos em detrimento à redução de produtividade tem maior custo que o transporte dos resíduos.
- Considerando apenas colheita e transporte, o aumento da produtividade, mesmo aumentando o teor de resíduos, compensaria o custo do transporte, se o resíduo não fosse problema na indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMABILINI, V. D. Utilização do Harvester na exploração florestal. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1991. p. 349 – 364.
- ABRAF, **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília – DF. 148 p. 2013
- ABTCP - **Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ID-MA-05A**
Geração de resíduos sólidos, p. 2. 2008.
- ALMEIDA, F. S. D.. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids para madeiras de eucalipto**. 2003, 115 f. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba - SP, 2003.
- ANDRADE, S. C.. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois sistemas de colheita florestal no litoral norte da Bahia**. 1998, 125 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004/2004:**
Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- BARBOSA, T. L. **Qualidade da madeira de clones de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla cultivados em cinco regiões do estado de Minas Gerais para produção de celulose**. 2013, 125 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES. 2013.
- BARRICHELO, L.G.; BRITO, J.O. A utilização da madeira na produção de celulose. **Circular técnica IPEF**, Piracicaba, n. 68 Piracicaba, p1 1-16, set. 1979.
- BARRICHELO, L.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI. A. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de Eucalyptus spp. **Silvicultura**. São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-730, 1982.
- BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of Wood and Wood composites**. Malabar: Krieger, 1993.
- BRAMUCCI, M.. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvester" na colheita de madeira**. 2001, 50 f. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2001.
- BRUN, F. L. **Influencia do valor da madeira de mercado sobre o ordenamento de florestas plantadas para suprimento parcial de uma industria de celulose e papel: uma aplicação da programação linear**. 2002, 160 f. Dissertação de mestrado. Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP. 2002.

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do "Harvester" na colheita do eucalipto**. 2008, 62 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2008.

CANTO, J. L. D.. **Colheita Mecanizada de Bioamssa Florestal para Energia**. 2009, 127 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal e Viçosa Viçosa - MG, 2009.

CARREIRO, M. R. M. **Análise exergética e ambiental do processamento do licor negro em fabricas de celulose e papel**. 2009, 141 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá – MG. 2009.

CELULOSE ON LINE. **Colheita com cabo aéreo ganha espaço**. Publicado em 18 de fevereiro de 2009. Disponível em:

<http://www.colheitademadeira.com.br/informativos/62/colheita-com-cabo-aéreo-ganha-espaço.htm>. Acesso em 07 jul. 2014.

CETESB, **Guia técnico ambiental da indústria de celulose e papel – série P+L**. 2008. Acesso em julho de 14. Disponível em: <

http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/papel.pdf>

DUARTE, F. A. S. **Avaliação da madeira de *Betula pendula*, *Eucalyptus globulus* e híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* destinadas à produção de polpa celulósica kraft**. 2006, 107 f. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP. 2006.

ELIASSON, L.; LAGESON, H. A simulation study of a single-grip harvester in thinning using two different harvesting regimes; thinning from below and from above. In: SEMINARIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TUNSPORTE FLORESTAL, 10., 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR; FUPEF 1998. p. 85-94.

EQUIPE TECNICA DA DURATEX . Colheita de madeira em florestas com baixo volume por árvore. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TUNSPORTE FLORESTAL, 4., Campinas, 1999. **Anais...** Viçosa, SIF,UFV, 1999. p. 54-72.

EQUIPE TECNICA DA DURATEX. Utilização do "timber-hauler" no transporte de madeira a curta distância. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TUNSPORTE FLORESTAL, 4., Campinas, 1999. **Anais...** Viçosa: SIF,UFV 1999. p. 1-13.

FERREIRA, P. R. F., **Disponibilidade e acúmulo de potássio, cálcio e magnésio em plantações de eucalipto em diversos sítios florestais**. 2008, 135f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa – MG. 2008

Fibria. (2013). **Avaliação resíduos da madeira**. Relatório interno, não publicado.

FIEDLER, N. C. **Avaliação ergonômica de máquinas utilizadas na colheita de madeira**. 1995, 126 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 1995.

FISCHER, A.. **Incentivos em programas de fomento florestal na indústria de celulose**. 260 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2007.

FOELKEL, C.. **Casca da árvore de eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos, e industriais visando a produção de celulose e papel**. Acesso: maio 2014. Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

FOELKEL, C.. **Gestão Ecoeficiente dos Resíduos Florestais Lenhosos da Eucalipticultura**, 2007. Acesso: maio 2012. Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT07_residuoslenhosos.pdf

FOELKEL, C.. **Oportunidades para ecoeficácia, ecoeficiência e produção mais limpa na fabricação de celulose kraft de eucalipto**, 2008. Acesso : maio 2012. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT10_ecoeficiencia.pdf

FOELKEL, C.. **Resíduos Sólidos Industriais da Produção de celulose Kraft de Eucalipto - Parte 1: Resíduos Orgânicos Fibrosos**, 2007. Acesso: maio 2012. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT05_residuos.pdf

FOELKEL, C.. **Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto**, 2012. Acesso: maio 2012. Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT20_LODOS.pdf

FOELKEL, C.. **Resíduos Sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 2: Fatores de sucesso para seu gerenciamento**, 2008. Acesso: maio 2012. Disponível em:
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT13_Residuos02.pdf

FREDDO, A. FOELKEL C. E. B.; FRIZZO, S. M. B.; SILVA, M. C M. Elementos Minerais em Madeiras de Eucaliptos e Acácia Negra e sua Influência na indústria de celulose Kraft Branqueada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, 1999. 193-209.

HAMAGUCHI, M.. **Análise do circuito da água em processo de fabricação de papel impressa integrada com produção de pastas termomecânicas**. 2007, 162

f. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2007.

HOLTZSCHER, M. A.; LANFORD, B. L. Tree diameter effects on cost and productivity of cut-to-length systems. **Forest Products Journal**, v. 47, n. 3, p. 25-30, 1997.

HUSCH, B., MILLER, C.I. BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2^a ed. New York, The Ronald Press, 1972. 410p.

JIROUSEK, R.; KLVAC, R.; SKOUPY, A. Productivity and costs of the mechanized cut-to-length wood harvesting system in clear-felling operations. **Journal Forest Science**, v. 53, n. 10, p. 476-482, 2007.

JORGE, M. M.. Celulose e Papel - Panorama Setorial. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 1998.

LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de Eucalyptus spp., sob três espaçamentos, em uma sequência de idades**. 1999, 132 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa – Viçosa -MG, 1999.

LANDIM, A. B.; ALMEIDA, R. S.; AMARAL. E. J.; FERNADES, S. M. Sistema de Lavagem e recuperação de Biomassa. **34 ° Congresso Anual de Celulose e Papel - ABTCP**, São Paulo, outubro 2001.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C. C. (Org). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002. p. 33-54.

LIRA FILHO, J. A. **Impactos ambientais da exploração florestal de madeira numa área de floresta plantada em região acidentada, Vale do Rio Doce, MG**. 1993, 86 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG. 1993.

LOPES E. S. Colheita de baixo volume individual. **Revista Opiniões**, Ribeirão preto, SP, v. p. 21, mar/mai. 2012. Disponível em:
<<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=821>> Acesso em: 16 jun. 2014.

LOPES, G.A. **Qualidade da madeira de Eucalyptus saligna Smith de Itatinga associado aos padrões de casca apresentado pela população**. 2000, 74 p. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP. 2000.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.. **Colheita Florestal**. In: O setor Florestal brasileiro e a colheita florestal. Viçosa: U.F.V., v. 15-42, 2008. p. 501.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N.; PEREIRA, R.S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. (coord). **Colheita Florestal**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2008, p. 15-42.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, CC. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG:UFV, 2002 cap. 6, p. 145 - 167.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M.S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: **Colheita Florestal**. 2ª. ed. Viçosa: UFV, 2008. 501p.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A.. **Evolução dos sistemas de Colheita de Pinus na Região Sul do Brasil**. Curitiba: FUPEF, 1998. .

MARTINS, R. J. **Efeito do espaçamento e arranjo do plantio do eucalipto na capacidade operacional e custo de colheita com colhedora florestal**. 2008, 84 f. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba – SP. 2008.

MIELI, J. C. D. A.. **Sistemas de Avaliação Ambiental na Indústria de Celulose e Papel**. 2007, 99 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 2007.

MIRANDA, G. D. M.; SILVA, M. L.; MACHADO, C. C.; LEITE; H. C . Contribuição da casca na composição do custo de transporte da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v. 26, n. 2, p. 145-148, 2002.

MIRANDA, M.G.; SILVA, M.L. MACHADO, C.C. LEITE, H.G. Contribuição da casca na composição do custo do transporte da madeira de eucalipto. **Revista árvore**, Viçosa, v. 26, n.2, p. 145-148. 2002.

MOREIRA, F. L. A. G. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação**. 2000, 161 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2000.

MÜLLER, M. D., **Produção de Madeira para Geração de Energia Elétrica numa Plantação Clonal de Eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005, 94 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2005.

NOVAES, A. G.. **Logística e Gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

- PAULA, E. N. D. S. O. D.. **Avaliação Técnica, de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal**. 2011, 68 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2011.
- PAULO NETO, F.: NUNES, J.R.S.; CAMPOS, J.C.C. Variação de percentagem da casca ao longo do tronco entre a árvore de eucalipto. **Revista árvore**. Viçosa, v. 16, n. 3. P.309-318. 1992.
- PENNA, E. S.. **Avaliação ergonômica e ambiental de cabos aéreos na colheita de Pinus em Cerro Azul**, 2009, 115 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa – Viçosa – MG. 2009.
- PIRES, S. R. L.. **Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e Casos - Supply chain management**. 1ª. ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- REIS, G. G., HALL, A. E. Relações hídricas e atividade do sistema radicular em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn em condições de campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.11, n.1, p. 43-55, 1987.
- REIS, M. G. F., BARROS, N. F., KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idades de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex. Maiden) plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais, **Revista Árvore**, Viçosa, v.11, n.1, p. 1-15, 1987.
- RIBEIRO, A. P.. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**. 2010, 141 f. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2010.
- RICHARDSON, R.; MAKKONEN, L. The performance of cut-to-length systems in Eastern Canada. **FERIC Technical Report**, n. 109, p. 1-16, Nov. 1994.
- RUSSO, M. A. T.. **Tratamento de resíduos sólidos**. Apostila do curso de tratamento de resíduos. Faculdade de Ciências e Tecnologia do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra. Portugal, p. 196. 2003.
- SALMERON, A.. **Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento**. In: Florestal, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento. Brasília, DF: [s.n.], 1981. p. 83-123.
- SANT'ANNA, C. M. Corte florestal. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Implensa Universitária, 2002. p. 55-88.
- SANTANA, R. C. **Crescimento e eficiência nutricional de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 1994, 73 f. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 1994.

- SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Análise técnico-econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. **Revista Arvore**, v.19, p. 346-357, 1995.
- SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C.; LEITE, H. G. Análise técnico-econômica da extração de eucalipto em áreas planas com o forwarder. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 213- 227, 1995.
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F.. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F Muell, plantados em Anhembi SP. **Ciência Florestal**, v. 3, n.1, p 9-18, 1993.
- SEIXAS, F. Extração. In: MACHADO, C.C. (coord). **Colheita Florestal**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2008, p. 97-145.
- SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal**. Piracicaba, SP: LCF/ESALQ/USP, 1998. 130 p. (Apostila de colheita Florestal).
- SEIXAS, F.. **Novas tecnologias no transporte rodoviário de madeira**. Piracicaba: IPEF, 2003 (Divulgação) Acesso: 15 de agosto de 2012. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/transporte.pdf>
- SEIXAS, F.; CAMILO. D.R. **Colheita e transporte florestal: notas de aula**. Escola Superior de Agricultura “LUIZ DE QUEIROZ”, Piracicaba, 2008.
- SILVA E. Aspectos políticos e sociais dos impactos ambientais das operações de colheita e transporte florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 2, 1995, Salvador. **Anais...** Salvador: SIF, 1995. P. 14-27.
- SILVA, H. D., POGGIANI, F. COELHO, L. C. **Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de Eucalyptus**. Curitiba: EMBRAPA, 1983. p. 1-8. (Boletim de pesquisa florestal, 6/7).
- SILVA, H. D., POGGIANI, F., COELHO, L. C. **Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de Eucalyptus plantadas em solos de baixa fertilidade**. Curitiba: EMBRAPA, 1983. P. 9-25. (Boletim de pesquisa florestal, 6/7).
- SILVA, J. F. **Comparativo entre processos florestais terceirizados e primarizados**. 2012, 82 f. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP. 2012.
- SILVEIRA, G. M. **Os cuidados com o trator**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2001. 312 p. (Série Mecanização, 1).

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008, 105 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrômicas, Botucatu – SP. 2008.

SOSA, I. R. H.. **Sistema multiagentes para controle inteligente da caldeira de recuperação**. 2007, 176 f. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2007.

SPINELLI, R; OWENDE, P. M. O.; WARD, S. M. Productivity and cost of CTL harvesting of Eucalyptus globulus stands using excavator-based harvesters. **Forest Products Journal**, Madison, v. 52 n. 1, p. 67-75, 2002.

STEIN, F. R.; RODRIGUES, L. A.; SCHETINO, S.. Sistema de Transporte rodoviário da Celulose Nipo Brasileira - CENIBRA. In: SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, Porto Seguro, 2001. **Anais...** p.109-121.

STEINER, C. et al.. **Resíduos Sólidos ou bens de produção? Novas tecnologias na indústria de celulose e papel**. (Norma Técnica 375), 1990.

SZÜCS, C.A.; TEREZO, R. F.; Valle, Â.; MORAES, P. D. **Estruturas de madeira**. Apostila do curso de Engenharia Civil UFSC. 186 pp. (2005).

TANAKA, O. P. Exploração e Transporte na Cultura do Eucalipto. **Informe Agropecuário**, v. 12, n. 141, 1986. p. 24-30.

TEIXEIRA, J.L., BARROS, N.F., CAMPOS, J.C.C. LEAL, P.G.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 13, n.1, p.34-50, 1989.

VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. P.; ANTIQUEIRA, A. C. Análise técnica e econômica do arraste com skidder no sistema de colheita de árvores inteiras eucalipto. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 20, n. I, p. 101-109, 1996.

VITAL, A. R. T. ; LIMA, W. P.; ; POGGIANI, F.; CAMARGO, F. R. A. Biogeoquímica de uma microbacia após o corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade. **Scientia Florestalis**, n. 55, p17-28. 1999.

WADOUSKI, L. H. O planejamento operacional na exploração de florestas. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTO, 1., 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF do Paraná, 1987. p. 28-39.